

Title	バイオエコノミーの実現に向けたバイオものづくり関連政策のランドスケープの可視化
Author(s)	松尾, 真紀子; 松本, 拓郎; 田沼, 伸章; 石塚, 大輔; 城山, 英明; 蓮沼, 誠久; 立川, 雅司
Citation	年次学術大会講演要旨集, 39: 135-139
Issue Date	2024-10-26
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/19623
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

1 B 1 8

バイオエコノミーの実現に向けたバイオものづくり関連政策の ランドスケープの可視化

○松尾真紀子（東京大学）、松本拓郎（内閣府）、田沼伸章（文部科学省）、石塚大輔（経済産業省）、
城山英明（東京大学）、蓮沼誠久（神戸大学）、立川雅司（名古屋大学）

1. はじめに

バイオものづくりへの期待の高まりと課題

バイオエコノミー社会の実現に向け、「バイオものづくり」への期待が国内外で高まっている。バイオものづくりとは、遺伝子技術を活用して微生物や動植物等の細胞によって物質を生産することであり、化石資源を利用したものづくりと比較して、生物機能を利用した複雑な物質の生産が容易、環境に対する負荷が低い、経済安全保障に寄与する、などの多様なメリットを有する次世代のものづくりである。

米国では、2022年9月に「国家バイオテクノロジーおよびバイオマニュファクチャリング・イニシアチブ」を掲げた大統領令が発令され、翌2023年3月には、同大統領令に基づく各省の政策文書が複数公開された。欧州では、2024年3月に「バイオテクノロジーとバイオものづくりを推進するための目標に関するコミュニケーション」が発表され、バイオものづくりを競争力の鍵として位置づけるとともに、今後のEUレベルでの取組強化に向けて、規制の簡素化、民間及び公的投資の向上、化石由来製品との公平な比較の促進などの8つのアクションプランを提示している。英国では、2023年12月に「エンジニアリングバイオロジーのための国家ビジョン」を公表し、バイオものづくりの基盤技術となる合成生物学・エンジニアリングバイオロジーの研究開発や産業応用に、向こう10年間で20億ポンドの投資を行う方針を示した。また、国際レベルでは、OECDのGFTech（Global Forum on Technology）が、重要技術の一つとして合成生物学を取り上げ、専門家によるフォーカスグループが政策担当者へのインプットを目的とした議論を行っている。

国内では、2023年度までに政府全体で総額5,000億円以上の研究開発予算（基金等）が投じられ、強力に取組が推進されている。2024年6月に策定された「バイオエコノミー戦略」において、「バイオものづくり」¹の推進が掲げられ、前記研究開発事業の社会実装によって開拓される市場はバイオエコノミー市場拡大の最大の牽引役として期待されている。

本稿の目的

「バイオものづくり」には、持続的な経済成長と社会課題の解決への双方への貢献が政策的に期待されている。この両立には、生物機能の産業応用の視点だけではなく、現在の工業・産業構造を段階的に転換し、バイオマス資源・バイオプロセスベースの社会・産業構造を目指すことが必要である。このためには、個々の技術領域の関係性を考慮するシステムズ・アプローチ、制度等のシステム的な観点も組み込んだ包括的・統合的なアプローチが必要である。しかし、日本の政策の現状を見るに、科学技術・イノベーション政策、産業セクター別政策、目的別政策等を組み込んだ包括的政策デザインは極めて困難であり、課題となっている。こうした問題意識のもと筆者らは、政策検討を行う上での必要事項に関するフレームワークと政策対応の前提となる要素を網羅的に整理した「バイオものづくりシステムにおける研究開発と政策の俯瞰マップ（以下俯瞰マップ）」を提示した（松尾ほか, 2024）。これを踏まえて本稿は、バイオエコノミー戦略で取り上げられている具体的政策・事業を中心にこの俯瞰マップに落とし込むことで、バイオものづくり関連政策のランドスケープを可視化し、今後の政策対応の分析に寄与することを目的とする。

以下、2. では俯瞰マップが求められる政策的背景と研究蓄積への要請について論じ、3. でバイオものづくり関連政策を落とし込んだ俯瞰マップの提示とその予備的考察を行い、4. で今後の課題とツールとしての俯瞰マップの役割について論じる。

¹ バイオエコノミー戦略における製品・サービスの対象は、本稿が対象とする①バイオものづくり・バイオ由来製品、のほかに、②持続的・一次生産システム、木材活用大型建材・スマート林業、③バイオ医薬品・再生医療・細胞治療・遺伝子治療関連産業、生活習慣改善ヘルスケア、デジタルヘルスがある。本稿の研究のスコープは、国際的にも政策的関心が高くまた新興技術のガバナンスと社会構造変革等の課題が最も顕著と思われる①に焦点を当てている。

2. 俯瞰マップが求められる政策的背景と研究蓄積への要請

前述のとおり、バイオエコノミー社会の実現においては、社会・産業構造をバイオベースに移行する必要がある。これには、システム思考による政策の全体調整 (Marvik and Philp, 2020)、エコシステム全体からとらえた俯瞰的な対応が求められる (NAS, 2020)。こうしたシステムティックな政策対応をする前提として、関連政策や活動の全体像を把握して整理する必要がある。

その観点から重要な昨今の政策議論として、OECD で提唱されているイノベーション・ポートフォリオ・アプローチが挙げられる。ポートフォリオ・マネジメントとは、現状の活動を定期的に見直し、戦略的なオプション間で一貫性のある資源配分 (投資、時間、人材等) を確保するダイナミックな意思決定のプロセスとされる (OECD, 2022, p. 27)。イノベーション・ポートフォリオ・アプローチ (多様な活動、支援体制、投資の管理) をとることは、仮に 1 つの投資が失敗しても他が成功する可能性が生じることからリスク分散を可能とし (OECD, 2022, p. 27)、様々な政策的メリット (すなわち、分断の回避とプロジェクト・活動間のシナジーの探索; 異なるプロジェクト領域間のバリューチェーンの構築; 大きな改革に関連する多層的な活動の監視; エコシステム横断的な計画; ロックインの回避) をもたらす (OECD, 2022, pp.29-30)。政策のポートフォリオを把握する政策的必要性は、直近の OECD のトランスフォーメティブアジェンダでも論じられており、政策担当者が STI 政策のポートフォリオを社会課題との関係でバランスよく把握することの重要性が指摘されている (OECD, 2024)。

ポートフォリオ・アプローチは、多様なイノベーションのタイプ (既存のイノベーションを深化 (exploitation) させる enhancement-oriented innovation ; 変化に順応する adaptive innovation ; ミッション志向の mission-oriented innovation ; 不確実な状況に対して探索的 (exploration) なイノベーションを展開する anticipatory innovation) に活用できる。バイオエコノミーの推進の観点からは、特にミッション志向型政策や将来課題を見据えて備えるための活動を制度的に埋め込む先見的なガバナンス (Anticipatory governance) (OECD, 2020) ・長期的な時間軸でゴールへの道筋を検討する移行管理 (Transition management) (Geels et al, 2017) との関連で有用なアプローチである。また、戦略的調査分析機能 (Strategic Intelligence) との関連でも重要なアプローチと言える。

こうした政策的必要性がある一方、イノベーション・ポートフォリオに関するツールや手法は民間セクターで蓄積があるものの、それらはコスト効率や単一組織を念頭にしたものも多く、公共的価値を重視し、より長期的視点に立つパブリックセクターにそのまま適用することは困難である。パブリックセクターでのポートフォリオ・アプローチの適用はいまだ発展分野であることから、研究の蓄積が求められている (OECD, 2022)。本研究の俯瞰マップはこうした政策的・研究上の要請にも寄与しうる。

3. バイオものづくり関連政策のランドスケープ

バイオエコノミー戦略におけるバイオものづくり関連政策

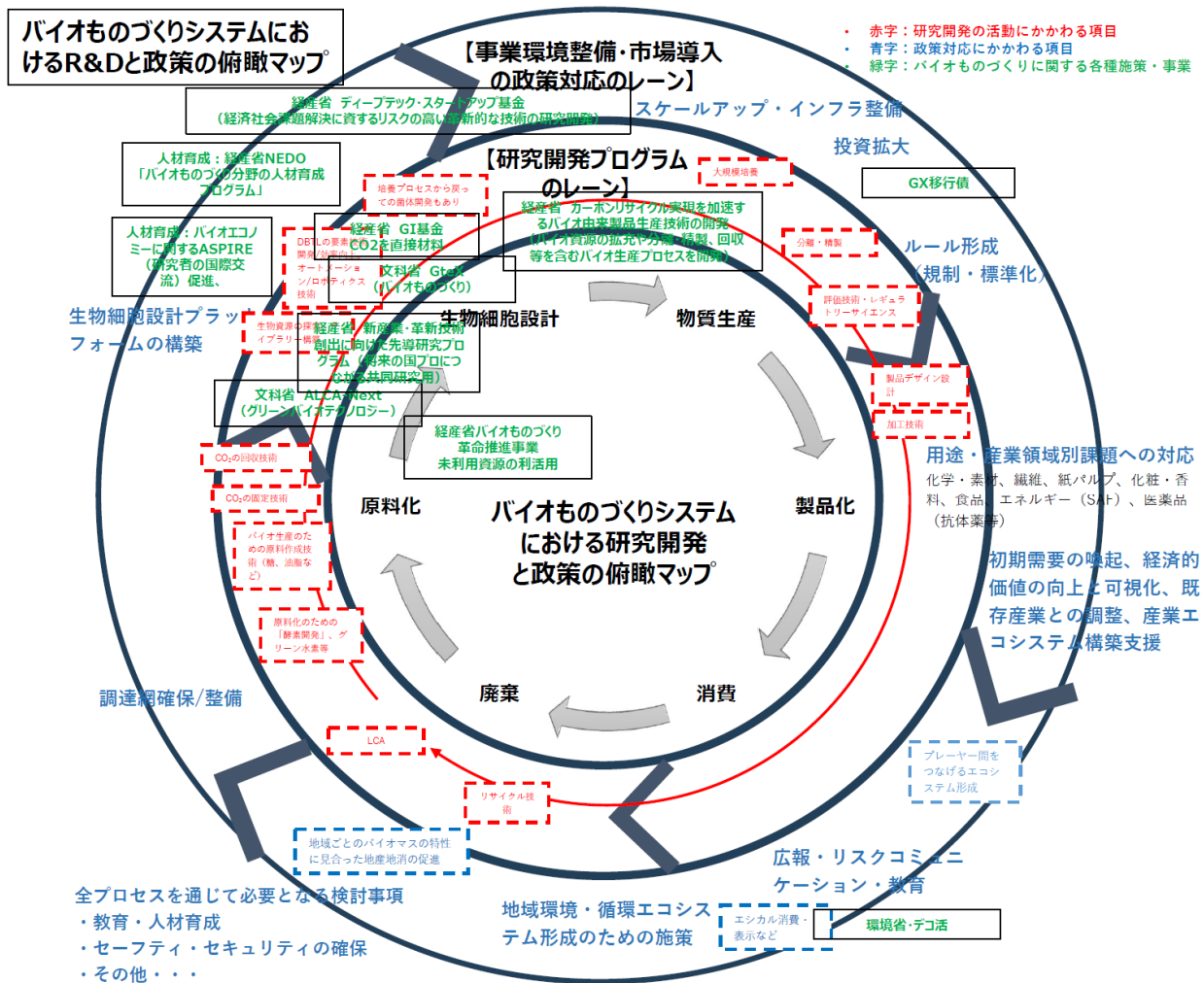
図 1 の俯瞰マップは、バイオものづくりを中心とした循環型バイオエコノミーを構成する要素と構造に、主として政府の「バイオエコノミー戦略」に掲げられている各種施策を書き込んだものである。

中心部の構造は、バイオものづくりにおいて物質生産の主役となるゲノムを改変した微生物・植物・動物等を生み出す「生物細胞設計」、生み出した生物細胞を利用して目的物質を生産する「物質生産」、需要者ニーズに沿って「製品化」され、「消費」された後の再原料化等も考慮し、再原料化に向けて適切に「廃棄」し、回収された資源をバイオものづくりに利用可能な原材料へと加工し物質プロセスに再投入する「原料化」の循環からなる。

現状は、「原料化」から「生物細胞設計」、「物質生産」にかけて、異なる視点からバイオものづくりに関する施策が展開されている。経済産業省では 3 つの事業が展開されている。1 つ目の、カーボンリサイクル実現を加速するバイオ由来製品生産技術の開発事業は、シーズの事業化及びプロセス開発段階における糖や油脂を中心とした原料からのものづくりに対して、生産実証のほかバイオ資源の活用の拡充、バイオ生産プロセスの開発、スケールアップ人材育成 (バイオものづくり分野の人材育成プログラム) の観点から支援している。残りの 2 つは実用化研究以降を対象として複数の企業の連携体制により具体的な物質生産の実現を目指したプロジェクトが支援されている。両事業は、特に「原料化」の部分で役割が異なり、GI 基金事業 (「バイオものづくり技術による CO₂ を直接原料としたカーボンリサイクルの推進プロジェクト) では二酸化炭素の直接利用 (セミコマーシャルまでの実証)、バイオものづくり革命

推進事業では未利用の多様な有機性廃棄物等の原材料利用（商業化に向けた実証）が目指されている。文部科学省の GteX（バイオものづくり領域）では、特に「微生物設計」の技術高度化を目指した基礎研究に取り組まれているほか、ALCA-Next（先端的カーボンニュートラル技術開発）の一部では、直接的なバイオものづくりとは異なるものの、バイオマスの化学変換によるものづくりに関する研究開発に取り組まれている。また、国際的な研究コミュニティへのネットワーク構築を支援する ASPIRE 先端国際共同研究推進事業においては、バイオエコノミーをテーマとする米国 NSF Global Centers バイオエコノミー領域共同研究などの公募がなされ、同領域の国際コミュニティへの参画の促進にも取り組まれている。また、「消費」においては、2050 年カーボンニュートラル及び 2030 年度削減目標の実現に向けて、「国民・消費者の行動変容、ライフスタイル変革を強力に後押しするための新しい国民運動「デコ活」が展開されている。

さらに、必ずしもバイオものづくりを直接のターゲットにした事業ではないが、その社会実装・社会変革に重要な役割を果たす事業も存在する。例えば、文部科学省の共創の場形成支援プログラムを通じて形成が進められている地域イノベーション拠点において、いくつかの拠点でバイオものづくりを組み込んだ取組が進められている（バイオ DX 産学共創拠点（広島大学）やゼロカーボンバイオ産業創出による資源循環共創拠点（京都大学）等）。循環型バイオエコノミーの実現には、一定の地域性を伴うと考えられており、そのような観点からこれらの拠点の取組は重要である。さらに、経済産業省の新産業・革新技術創出に向けた先導研究プログラム（将来の国プロを念頭ににした大学・企業が連携した開発を支援）、ディープテック・スタートアップ基金などは、バイオものづくりに特化しない、一般的な研究開発に関連する事業であるが、バイオものづくりの政策等で活用可能である。バイオものづくりでは、その産業化に向けて大規模かつ長期的な投資が必要とされるため、これらの活用も政策上重要となってくる。



【図1 バイオものづくりシステムにおける研究開発と政策俯瞰マップ】

予備的考察：俯瞰マップによる可視化と活用の方向性

俯瞰マップにより、バイオものづくりのプロセスに関わる既存の対応施策や事業が可視化され、いかなる事業間のつながりが必要で、いかなる施策が十分でないのか等の検討が可能となる。例えば、微生物設計から物質生産、製品化までをシームレスに展開するためには、基礎研究から応用研究・実証、実用化までの関連する事業の接続が課題となり、それぞれを所管している文科省・経産省と、実際に支援するファンディングエージェンシーの JST と NEDO の連携が重要となることを見て取れる。そこから、政策的にはワンストップでシームレスに社会実装まで一気通貫のサポートする機能強化の検討をし、また、大学や研究組織側でも産学連携推進機能の強化やコーディネーターの育成等の対応を行うことが考えられる。また、バイオものづくりによって生み出される製品の消費を促す方策として、製品表示や公共調達の取組を進めていく方針がバイオエコノミー戦略でも示されているが、より一般的な視点からバイオテクノロジー全般の社会受容性向上についての取り組みも必要と考えられ、これを解消するための教育的アプローチについても検討する価値がある。例えば、バイオものづくり技術の社会実装に向けた時間軸や社会全体の年齢構成等を意識しながら、初等中等教育のみならず、高等教育や社会教育の各段階の取組の有効性を評価しながら、アプローチを検討していくといったことが考えられる。また、諸外国のバイオものづくりに関する政策では、バイオセーフティ・バイオセキュリティ、責任あるイノベーションの推進といった政策目標が強調されているが、バイオものづくりのシステム全体にかかわるこうした重要な要素をどう具体的な政策項目としてプロセスの中に埋め込んで推進していくのか、といった課題もこの俯瞰マップから推測される。

4. 今後の課題と俯瞰マップの役割

本稿では、バイオものづくりに関連する包括的政策デザインを実現するため、バイオエコノミー戦略に掲げられている具体的政策・事業を中心に俯瞰マップに落とし込むことで、政策ランドスケープの可視化を試み、その活用の方向性についての予備的考察を行った。バイオエコノミーで求められる社会課題解決と持続的経済の推進の両立といった複雑なミッションを実現するには、システム思考に基づく先見的ガバナンスが求められ、異なる多様な政策の全体像を把握するイノベーション・ポートフォリオ・アプローチ等、新たな政策や研究の蓄積が求められているところである。俯瞰マップはこうした要請に寄与するものである。

今後の課題としては、この俯瞰マップに関連する具体的事業や政策をさらに追加して精緻化し、政策形成における異なるアクター間の媒介ツールとして活用することが挙げられる。本稿ではバイオエコノミー戦略に掲げられた施策を中心に検討したが、本稿でも論じた通り、バイオものづくりを直接のターゲットとしていない一般的な事業でバイオものづくりに有用な政策はほかにも存在する。こうした政策を把握するためにも関係省庁へのヒアリングを通じて拡充する必要がある。そのうえで、バイオものづくりのシステムにおける研究開発と政策俯瞰マップに基づき、ステークホルダー・関係者間で俯瞰マップを介した議論を行い、ボトルネックの特定をする必要がある。また、異なるタイプの政策間調整を行う上では、異なる認識を持つアクターや組織、セクター、領域をつなぐ媒介機能が重要となる。こうした全体俯瞰マップを作成することは、バイオエコノミーに参画するアクターがそれぞれの立場から相互の関連性を認識させ、政策間の調整や連携に向けた行動をとらせるための重要な契機となる可能性がある。すなわち、全体俯瞰マップが一種のパウンダリーオブジェクト (Satr, 1989 ; Guston, 2001) として、「コミュニケーションと協力のための手段」になりうる。あらかじめ関連するアクターが俯瞰マップを通じて議論することで不要な transaction コストも低減し結果としてイノベーションの加速化にもつながるかもしれない。こうしたことから、いかに俯瞰マップを媒介として政策検討に活用できるかも今後の課題となる。

参考文献

- Guston, D. H. (2001). Boundary organizations in environmental policy and science: an introduction. *Science, technology, & human values*, 26(4), 399-408.
- Geels, F. W., Sovacool, B. K., Schwanen, T., & Sorrell, S. (2017). The socio-technical dynamics of low-carbon transitions. *Joule*, 1(3), 463-479.
- OECD (2024), Science, Technology and Industry Policy Papers April 2024 no. 164 Agenda for Transformative Science, Technology, and Innovation Policies.

<https://www.oecd-ilibrary.org/deliver/ba2aaf7b-en.pdf?itemId=%2Fcontent%2Fpaper%2Fba2aaf7b-en&mimeType=pdf>

OECD (2022) OECD Public Governance Reviews - Tackling Policy Challenges Through Public Sector Innovation A Strategic Portfolio Approach.

https://www.oecd.org/en/publications/tackling-policy-challenges-through-public-sector-innovation_052b06b7-en.html

OECD (2020) Anticipatory Innovation Governance Shaping the future through proactive policy making

<https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/cce14d80-en.pdf?expires=1701523399&id=id&accname=guest&checksum=FFE1F0613617D6F0FB5BBFB27D2C2F39>

OECD (2019) Strategic Foresight for Better Policies

<https://www.oecd.org/strategicforesight/ourwork/Strategic%20Foresight%20for%20Better%20Policies.pdf>

松尾ほか (2024) 「バイオエコノミーの実現に向けたバイオものづくりの推進における課題と政策的検討を行う上での必須事項に関するフレームワーク」 IFI Working Paper No.32 September 2024

<https://ifi.u-tokyo.ac.jp/wp/wp-content/uploads/2024/09/WP032.pdf>

NAS (2020) Safeguarding the Biotechnology

<https://www.nap.edu/catalog/25525/safeguarding-the-bioeconomy>

Star, S. L., & Griesemer, J. R. (1989). Institutional ecology, 'translations' and boundary objects: Amateurs and professionals in Berkeley's Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39. *Social studies of science*, 19(3), 387-420.

謝辞

本研究は下記のプログラムの一環として行われたものである。

共進化実現プログラム「バイオエコノミーを目指したバイオものづくりの推進：政策課題の可視化と制度設計」（研究代表：東京大学公共政策大学院 松尾真紀子）（2023年度10月～2026年3月）。